

ANALISIS KONTRAS SPEKEL PADA OLI TERHADAP PERUBAHAN KEKENTALAN DENGAN VARIASI TEMPERATUR MENGGUNAKAN LSI (*LASER SPECKLE IMAGING*)

Adhitya Rolando Erlangga, Harmadi

Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi, Jurusan Fisika FMIPA Universitas Andalas
Kampus Unand, Limau Manis, Padang, 25163

e-mail: genkano27@gmail.com, harmadi@fmipa.unand.ac.id

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian untuk mengetahui perubahan kekentalan oli mesin kendaraan bermotor terhadap variasi temperatur dengan menggunakan LSI (*Laser Speckle Imaging*). Komponen dan bahan terdiri dari laser He-Ne sebagai sumber cahaya, detektor CCD kamera (*Charge Couple Device*), termometer, pemanas, PC (*Personal Computer*) dan oli. Oli yang digunakan adalah oli Mesran SAE 20W-50. Oli dipanaskan pada temperatur 30°C, 40°C, 50°C, 60°C, 70°C, 80°C, 90°C, 100°C. Berkas laser He-Ne diarahkan pada sampel hingga terjadi *back-scattering* dan dideteksi menggunakan CCD kamera. Informasi dari CCD direkam menggunakan *software Ulead Video Studio-10* berukuran 320x240 piksel dan ditampilkan dalam bentuk pola spekel. Pola spekel terbentuk dikonversi menjadi *gray scale*, kemudian dianalisis secara histogram menggunakan *software ImageJ* untuk mendapatkan nilai kontras spekel. Nilai kontras tertinggi didapatkan pada temperatur 30°C sebesar 0,3183 a.u. Nilai kontras terendah didapatkan pada temperatur 100°C sebesar 0,1756 a.u. Penurunan nilai kontras spekel pada oli saat temperatur meningkat memperlihatkan perubahan kekentalan oli. Nilai regresi data kontras yang didapatkan saat oli dipanaskan 0,933. Semakin rendah kekentalan oli maka nilai kontras spekel dihasilkan semakin kecil yang mengikuti fungsi eksponensial

Kata kunci : LSI, temperatur, kekentalan, kontras, CCD

ABSTRACT

Research had been conducted to determine the changes of lubricant oil viscosity in the motor vehicle engine against temperature by using LSI (Laser Speckle Imaging). Component and material consisted of a He-Ne laser as light source, camera CCD (Charge Couple Device) detector, thermometer, heater, PC (Personal Computer) and oil. Mesran SAE 20W-50 oil was used in research. Oil was heated at temperature 30°C, 40°C, 50°C, 60°C, 70°C, 80°C, 90°C, and 100°C. He-Ne laser beam was directed at the sample to occur back-scattering and detected by using a CCD camera. Information from the CCD was recorded by using Ulead Video Studio-10 software size 320x240 pixels and displayed in the form speckle pattern. The speckle pattern was converted to gray scale and analyzed by using the histogram method in ImageJ software to obtain speckle contrast value. The highest contrast value were obtained at temperatures 30°C at 0.3183 a.u. The lowest contrast value were obtained at temperatures 100°C at 0.1756 a.u. The Decreasing of speckle contrast value changes when the temperature increased, it showed oil viscosity change. Contrast regression value obtained were 0.933. The more decreased the viscosity of oil, the values of speckle contrast would be smaller that followed an exponential function.

Keywords : LSI, temperature, viscosity, contrast, CCD

I. PENDAHULUAN

Viskositas (kekentalan) merupakan salah satu karakteristik dari sebuah oli. Kekentalan merupakan karakteristik yang menentukan standar kualitas maupun standar kerja produk. Konsumen dapat memilih oli yang sesuai dengan spesifikasi dan performa mesin jika mengetahui tingkat kekentalan oli.

Oli mengalami perubahan kekentalan saat terjadinya perubahan temperatur. Hal ini disebabkan oleh molekul penyusun suatu fluida mendapat energi *thermal* dari luar (*eksternal*) yang menyebabkan ikatan antar molekul sejenis (kohesi) semakin kecil (Olson, 1993). Pada mesin motor, energi panas dihasilkan selama proses pembakaran dan gesekan yang terjadi dalam mesin. Energi panas inilah yang dapat menyebabkan peningkatan temperatur pada oli dalam mesin sehingga berdampak terhadap kekentalannya.

Pencitraan spekel merupakan metode optik yang dapat diterapkan untuk analisa kuantitatif terhadap pengukuran kerapatan fluida. Metode ini sangat sederhana karena hanya memerlukan hamburan cahaya untuk pengukuran kerapatan pola spekel (Kawahashi dan Hirara, 2007). Pencitraan spekel akan membentuk pola tertentu pada medium fluida saat disinari sebuah cahaya.

LSI (*Laser Speckle Imaging*) merupakan sebuah teknik pencitraan yang mendeteksi dan menganalisis perubahan kontras spekel dari sampel (Tamakai dkk, 1994). Pola spekel terbentuk dari cahaya yang terhambur saat sampel disinari laser. LSI memiliki kesederhanaan dalam sistem perancangannya karena hanya terdiri dari tiga komponen utama yaitu laser sebagai sumber cahaya, sampel, dan CCD sebagai detektor. LSI merupakan teknik pencitraan *non invasive* dan *non destructive* yang mendeteksi sinyal optik pada material. Analisis kontras yang digunakan adalah analisis *gray level* (tingkat keabu-abuan) dari hasil citra. Citra yang didapat dengan metode LSI dianalisis menggunakan histogram untuk klasifikasi dan pencocokan pola yang terbentuk (Apsari, 2009).

Bedasarkan uraian serta penjelasan diatas, maka perlu dikembangkan penelitian pengukuran kekentalan oli menggunakan teknik LSI. Pola spekel didapatkan pada cahaya yang terhambur saat laser menyinari permukaan oli.

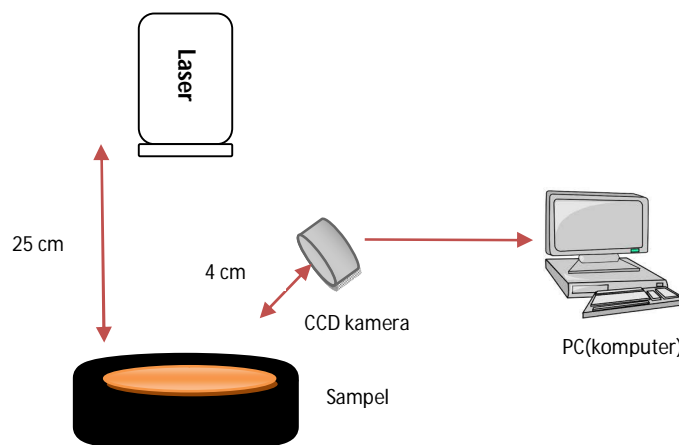
II. METODE

2.1 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari laser He-Ne *continuous wave* 632,8 nm sebagai sumber cahaya, detektor CCD (*Charge Couple Device*) 320 x 240 piksel 30 fps (*frame per second*), termometer, pemanas elektrik, PC (*Personal Computer*), kotak akrilik hitam dan oli. Oli yang digunakan adalah oli SAE 20W-50.

2.2 Rancangan Sistem LSI (*Laser Speckle Imaging*)

Sistem rancang bangun pada metode LSI terdiri atas sebuah sumber cahaya yang koheren, yaitu sinar laser He-Ne dengan $\lambda = 632,8$ nm dengan daya keluaran 0,8 mW seri 1507P-1. Sebagai detektor terhadap sinar hampur adalah CCD camera fps (*frame per second*) yang terhubung dengan PC (*personal computer*). Kotak akrilik hitam dibentuk dengan ukuran 25 cm x 15 cm x 25 cm. Sampel oli ditempatkan dalam media aluminium berwarna hitam yang telah dilengkapi pemanas listrik. Laser He-Ne diposisikan secara vertikal diatas dengan jarak 25 cm dari permukaan oli dalam wadah. CCD diposisikan menghadap sampel dari atas dengan besar sudut $\pm 30^\circ$ terhadap sinar laser dan jarak 4 cm dari sampel. CCD kemudian dihubungkan dengan PC. Kalibrasi pola yang spekel yang terbentuk hingga didapatkan bentuk pola yang jelas. Bentuk susunan alat dan bahan dapat diamati pada Gambar 1.



Gambar 1 Rancangan sistem LSI (*Laser Speckle Imaging*)

2.3 Analisis Pola Spekel

Spekel merupakan suatu pola yang terbentuk saat suatu permukaan benda disinari seberkas cahaya yang koheren seperti dari Laser sehingga terhambur membentuk suatu pola dengan distribusi acak yang berbentuk butiran kecil. Struktur ini akan membentuk pola cahaya gelap dan terang secara acak (Rabal dan Braga, 2009). Spekel dihasilkan dari interferensi cahaya yang terhambur oleh permukaan benda yang bersifat tidak homogen (inhomogenities) secara optik. Untuk peristiwa ini, pola spekel akan terbentuk dari gabungan sinar koheren yang terhambur terdistribusi secara acak amplitudo serta fasanya. Bentuk pola yang terbentuk dari permukaan benda yang disinari ditentukan oleh struktur permukaan benda dan kemampuan sistem imaging. Saat benda disinari oleh cahaya monokromatik dan mengalami polarisasi sempurna maka akan mengalami penghamburan dari permukaan di titik P. Besarnya intensitas pada titik P ditunjukkan oleh Persamaan 1.

$$U(P) = |U_j| e^{i\phi_j} = |U_j| e^{ikr_j} \quad (1)$$

r_j merupakan jarak dari elemen-elemen hamburan permukaan ke j pada titik P. Amplitudo yang kompleks dari bidang sinar terhambur pada titik P dapat ditentukan pada Persamaan 2.

$$U(P) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{j=1}^N u_j(P) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{j=1}^N |u_j| e^{i\phi_j} = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{j=1}^N |u_j| e^{ikr_j} \quad (2)$$

Dengan mengasumsikan amplitudo u_j dan fase ϕ_j pada setiap komponen daerah komponen secara statistik yang bersifat independent terhadap amplitudo dan fase komponen medan lainnya. Fase ϕ_j terdistribusi secara seragam pada interval $(-\pi, \pi)$ yang menunjukkan bahwa permukaan benda lebih kasar dari pada panjang gelombang dengan jumlah hamburan total N sangat besar dan membuktikan validitas dari teorema limit sentral. Goodman (1976; 1984) telah menunjukkan bahwa bagian riil dan imajiner dari resultan medan adalah asimtotik Gaussian. Gabungan densitas probabilitas ditunjukkan pada Persamaan 3.

$$P_{r,i}(U^{(r)}, U^{(i)}) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left[-\frac{(U^{(r)})^2 + (U^{(i)})^2}{2\sigma^2}\right] \quad (3)$$

Dari Persamaan 1 serta dengan menghitung intensitas I dan $p(\Phi)$ fase resultan medan berhubungan dengan bagian riil dan imajiner pada Persamaan 4 dan Persamaan 5.

$$U^{(r)} = \sqrt{I} \cos \Phi \quad (4)$$

$$U^{(i)} = \sqrt{I} \sin \Phi \quad (5)$$

Besarnya probabilitas intensitas $p(I)$ dan probabilitas fase $p(\Phi)$ diberikan oleh Persamaan 6 dan Persamaan 7.

$$P(I) = \frac{1}{\langle I \rangle} e^{-\frac{I}{\langle I \rangle}} \quad \text{untuk} \quad I \geq 0 \quad (6)$$

$$P(\Phi) = \frac{1}{2\pi} \quad \text{untuk} \quad -\pi \leq \Phi \leq \pi \quad (7)$$

$\langle I \rangle$ merupakan nilai rata-rata dari intensitas pada diagram spekel. Distribusi intensitas akan mengikuti aturan eksponensial negatif dimana probabilitas fase terdistribusi secara merata dalam interval $(-\pi, \pi)$. Persamaan distribusi dari intensitas yang terjadi adalah Persamaan 8. Khusus pada pendekatan orde kedua dinyatakan dalam Persamaan 9.

$$\langle I \rangle = n! (2\sigma^2)^n = n! \langle I \rangle^n \quad (8)$$

$$\langle I^2 \rangle = 2\langle I \rangle^2 \quad \text{dan} \quad \sigma_1^2 = \langle I^2 \rangle - \langle I \rangle^2 = \langle I^2 \rangle \quad (9)$$

Persamaan ini menunjukkan standar deviasi dari pola spekel terpolarisasi dengan nilai rata-rata intensitas. Dengan mengukur tingkat dari modulasi spekel yang dinyatakan sebagai kontras dan dapat didefinisikan pada Persamaan 10.

$$C = \frac{\sigma_1}{\langle I \rangle} \quad (10)$$

2.4 Korelasi perubahan kontras terhadap perubahan kekentalan

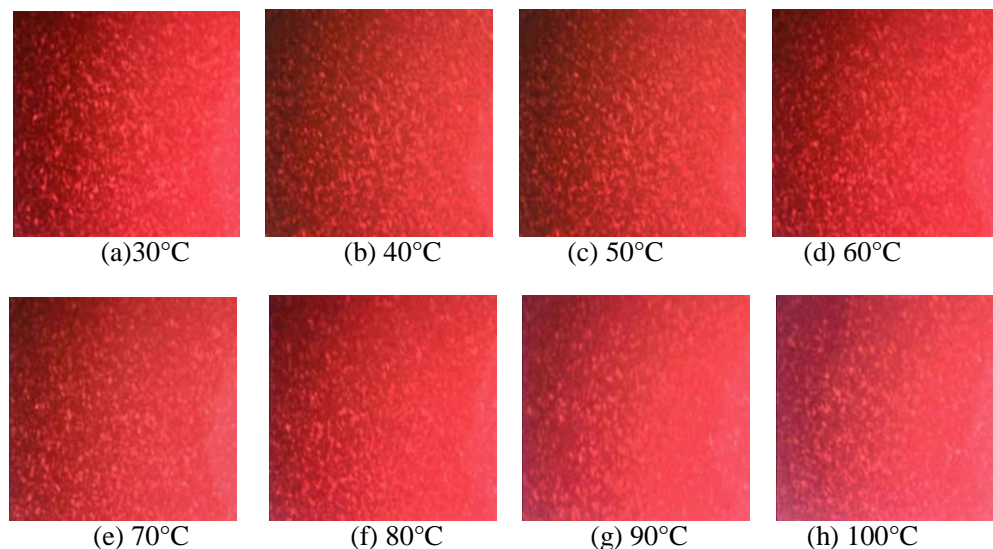
Pengaruh temperatur terhadap kekentalan dapat dimodelkan pada Persamaan Arrhenius (Persamaan 11).

$$\eta = A e^{\frac{E_a}{RT}} \quad (11)$$

dimana η adalah kekentalan (Pa·s), A adalah faktor eksponensial (Pa·s), E_a merupakan energi aktivasi (J/mol), and T merupakan temperatur (K). Jika Persamaan 11 diekspansi dalam bentuk logaritma natural maka hubungan antara kekentalan dengan temperatur dapat dinyatakan $\ln \eta \propto 1/T$ (Reid, 1987).

III. HASIL DAN DISKUSI

Dari penelitian yang telah dilakukan, diperoleh pola spekel dengan menggunakan metode LSI pada oli. Pola spekel yang dihasilkan terbentuk berupa hamburan gelap terang yang acak saat oli disinari oleh laser He-Ne merah. Oli yang digunakan adalah oli Mesran SAE 20W-50. Pengolahan citra menggunakan software ImageJ bertujuan untuk mendapatkan karakterisasi histogram dari distribusi kontras oli pada temperatur yang ditentukan. Metode LSI digunakan untuk mendeteksi perubahan intensitas pola spekel yang dianalisis sebagai kontras spekel. Analisis pola spekel menggunakan statistik histogram dengan menampilkan distribusi tingkat keabu-abuan disetiap titik pada citra. Dengan teknik histogram, nilai rata-rata intensitas $\langle I \rangle$ dan simpangan baku intensitas σI dapat ditentukan.



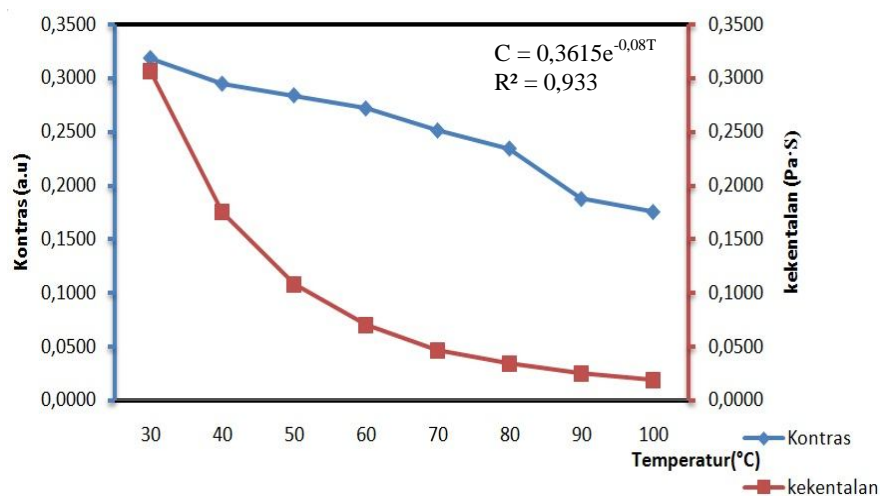
Gambar 2 Pola spekel terbentuk saat oli dipanaskan

Pola spekel yang terbentuk saat oli dipanaskan dapat diamati pada Gambar 2 yang merupakan pola spekel yang dihasilkan pada temperatur 30°C, 40°C, 50°C, 60°C, 70°C, 80°C, 90°C, 100°C. Pola spekel yang dihasilkan dalam bentuk distribusi gelap terang mengalami perbedaan pada temperatur yang telah ditentukan. Hasil pengamatan pola spekel yang didapatkan diolah menggunakan *software ImageJ* untuk mendapatkan karakteristik histogram *grayscale* di setiap titik dalam citra. Setelah citra pola spekel diolah, maka akan didapatkan data seperti pada Tabel 1.

Perubahan nilai kontras yang disebabkan perubahan kekentalan dan temperatur dapat diamati pada Gambar 3. Dari paparan Gambar 3 diperlihatkan bahwa besar nilai kontras oli pada temperatur 30°C lebih tinggi dari pada temperatur 40°C, 50°C, 60°C, 70°C, 80°C, 90°C, dan 100°C yaitu sebesar 0,3183. Nilai kontras oli semakin menurun saat temperatur oli naik hingga temperatur 100°C yaitu sebesar 0,1756.

Tabel 1 Data analisis histogram pola spekel oli saat dipanaskan

Temperatur (°C) (T)	Rata-rata intensitas $\langle I \rangle$	Rata-rata Standar Deviasi (σ)	Rata-rata Kontras (C)
30	19,251	30,612	0,3183
40	97,289	28,668	0,2947
50	93,398	26,517	0,2839
60	98,094	26,652	0,2717
70	102,876	25,848	0,2513
80	105,780	24,803	0,2345
90	116,683	21,889	0,1876
100	123,327	21,651	0,1756



Gambar 3 Perbandingan nilai kontras dan kekentalan saat oli dipanaskan

Nilai kontras yang tinggi pada oli temperatur 30°C menunjukkan bahwa, lebih banyak berkas sinar laser terhambur dengan distribusi dan intensitas yang seragam. Dari paparan Gambar 3 terlihat bahwa, nilai kontras pola spekel mengalami penurunan saat temperatur oli meningkat. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur oli, berkas sinar laser terhambur dengan distribusi dan intensitas yang seragam semakin berkurang. Teori kekentalan oli menjelaskan bahwa makin besar temperatur pada suatu oli, ikatan molekul-molekul penyusunnya akan melemah. Molekul-molekul penyusun oli menjadi semakin berjauhan dan memiliki susunan yang tidak beraturan saat temperatur oli besar. Berkas cahaya laser dapat terhambur karna mengenai molekul penyusun yang tidak beraturan. Cahaya laser yang dimodulasikan ke oli terhambur dengan intensitas besar saat mengenai molekul yang tersusun tidak beraturan. Kekentalan oli akan menurun jika temperatur oli meningkat. Hal ini disebabkan ikatan molekul penyusun oli makin merenggang. Dalam bentuk matematis hubungan antara kontras terhadap temperatur adalah $C = 0,3615e^{-0,08T}$. Perubahan nilai kontras terhadap temperatur mengikuti fungsi eksponensial. Hubungan temperatur terhadap kekentalan oli terlihat pada Persamaan 11. Dari paparan Gambar 3 nilai kontras dan kekentalan menurun saat perubahan temperatur. Bentuk hubungan antara nilai kontras dan kekentalan sebanding dengan $e^{1/T}$. Semakin besar temperatur maka nilai kontras dan kekentalan menurun mengikuti fungsi eksponensial. Nilai regresi data kontras terhadap perubahan kekentalan disebabkan temperatur yang didapatkan adalah 0,933.

IV. KESIMPULAN

Setelah melakukan penelitian ini, didapatkan simpulan bahwa sistem pencitraan LSI dapat menghasilkan citra pola spekel pada oli untuk mengetahui perubahan kekentalan dengan

variasi temperatur. Perubahan kekentalan pada oli terhadap temperatur dianalisis menggunakan perubahan nilai kontras pola spekel. Semakin besar temperatur oli, maka nilai kontras semakin kecil yang mengikuti fungsi eksponensial. Nilai regresi data kontras terhadap perubahan kekentalan disebabkan temperatur yang didapatkan adalah 0,933.

DAFTAR PUSTAKA

- Apsari, R., 2009, Sistem fuzzy Berbasis Speckle Imaging untuk Deteksi Kualitas Enamel Gigi Akibat Paparan Laser ND: YAG, Disertasi-S3, Program Pasca Sarjana UNAIR, Surabaya.
- Goodman, J.W., 1976, Some Fundamental Properties of Speckle, J. Opt. Soc. Am. 66, 1145.
- Goodman, J.W., 1984, Statistical Properties of Laser Speckle Pattern, in Laser Speckle and Related Phenomena, 2nd ed, Dainty, J.C., Ed., Springer Verlag, New York.
- Kawahashi, M. dan Hirahara H., 2007, Density Field Measurement by Digital Laser Speckle Photography, Tesis, Saitama University.
- Olson, R.M., 1993, Dasar-Dasar Mekanika Fluida Teknik, Gramedia Pustaka Utama, Surabaya.
- R.C. Reid, J.M Pransuitz and B.E. Poling, 1987, The Properties of Gases and Liquids, McGraw-Hill, New York.
- Rabal H. J., dan Braga R.A., Dynamic Laser Speckle and Applications. Optical Science and Enggining: 139, Taylor & Francis Group, LLC.
- Tamakai, A., Kawatomo, Eguchi, dan Fuji, 1994, Non-contact, Two Dimension Measurement of Retinal Microsirculation Using Laser Speckle Phenomenon, Invest. Opt. Mol. Vis. Sci. 35; pp3825-34.